



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 42 23 616 C 1

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**C 25 D 1/02**  
G 03 F 7/00  
// G 01 L 9/00, F 04 B  
43/02, 45/04

②1 Aktenzeichen: P 42 23 616.9-45  
②2 Anmeldetag: 17. 7. 92  
④3 Offenlegungstag: —  
④5 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25. 11. 93

DE 42 23 616 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, 76133  
Karlsruhe, DE

⑦2 Erfinder:

Schomburg, Werner, Dr., 7500 Karlsruhe, DE; Rapp,  
Richard, 7513 Stutensee, DE; Stern, Gerhard, 7507  
Pfinztal, DE; Baumgärtner, Eugen, 7528 Neuthard, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

EP 01 04 685 A2  
Z: Sensors and Actuators, 15, 1988, 153-167;  
Z: Microcircuit Engineering, 4, 1986, 35-56;

⑤4 Verfahren zur Herstellung hohler Mikrostrukturen, die einseitig mit einer Membran verschlossen sind

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung hohler Mikrostrukturen, die einseitig mit einer Membran verschlossen sind, aus auf einer Seite offenen Mikrostrukturen, die durch galvanische Abscheidung in eine Resiststruktur auf einer dünnen Schicht aufgebaut wurden, die sich auf einem Substrat befindet.

Aufgabe der Erfindung ist es, das Verfahren so zu modifizieren, daß hohle Mikrostrukturen hergestellt werden können, die auf einer Seite mit einer dünnen Membran verschlossen sind und die sich auf einfache Weise herstellen lassen.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Mikrostrukturen über den Rand der Resiststruktur übergalvanisiert werden, die Oberfläche der Mikrostrukturen abgearbeitet wird, bis sie eben ist, eine Abdeckplatte so mit den Mikrostrukturen verbunden wird, daß die Mikrostrukturen verschlossen werden, dann schließlich die dünne Schicht um die Abdeckplatte herum durchtrennt wird und die dünne Schicht vom Substrat getrennt wird, auf dem sie sich befand.

DE 42 23 616 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung hohler Mikrostrukturen, die auf einer Seite mit einer Membran verschlossen sind, nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Aus der EP 0 104 685 A2 ist ein Verfahren zur Herstellung einer Maske für die Mustererzeugung in der Röntgentiefenlithographie bekannte. Dabei werden die Absorber für die Maske (= Mikrostrukturen) auf drei Trägerschichten aufgebaut. Das Ergebnis des Verfahrens ist dann die auf einer Seite offene Mikrostruktur auf einer Trägermembran.

Nachteilig bei diesem Verfahren ist, daß die Mikrostrukturen zu einer Seite hin vollkommen offen bleiben, wodurch die Verwendung der Mikrostrukturen z. B. als Drucksensor nicht möglich ist. Ein Verschließen der Mikrostrukturen mit einer Abdeckplatte ist oft nicht möglich, weil die Oberfläche der Mikrostrukturen hierfür zu uneben ist. Eine Bearbeitung der Oberfläche der Mikrostrukturen ist jedoch nicht ohne weiteres möglich, da die Mikrostrukturen und die oberste Trägerschicht durch diese Bearbeitung beschädigt werden könnten.

In Sensors and Actuators, 15 (1988) 153-167 wird von H.T.G. van Lintel und F.C.M. van de Pol ein Herstellungsverfahren für eine Mikropumpe beschrieben, bei dem eine Siliziumscheibe strukturiert wird und die Strukturen auf einer Seite mit einer Glasmembran und auf der anderen Seite mit einer Glasscheibe verschlossen werden.

Nachteilig bei diesem Verfahren ist, daß das nachträgliche Verschließen einer Mikrostruktur mit einer dünnen Membran nur sehr schwer möglich ist, ohne daß sich die Membran wellt.

Außerdem läßt sich die innere mechanische Spannung in der Membran, die bei manchen Anwendungen genau eingestellt werden muß, auf diese Weise nur sehr schwer in der gewünschten Weise beeinflussen.

Die Erfindung hat die Aufgabe, ein Verfahren der gattungsgemäßen Art so zu modifizieren, daß hohle Mikrostrukturen hergestellt werden können, die auf einer Seite mit einer dünnen Membran verschlossen sind und die sich auf einfache Weise herstellen lassen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch den kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung wieder.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Fig. 1 bis 4 und zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Die Fig. 1 bis 4 zeigen 4 Fertigungsstufen des ersten Anwendungsbeispiels.

Die Fig. 1 zeigt schematisch den Grundaufbau der Schichten für die Herstellung der Strukturen vor der eigentlichen Strukturierung.

Eine Siliziumscheibe 1 ist mit einer Trennschicht 2 aus Kohlenstoff versehen, wobei ein dünner Rand 1a der Siliziumscheibe von der Trennschicht 2 unbedeckt bleibt. Darauf folgt eine Titanschicht 3, auf die eine röntgenempfindliche Resistschicht 4 aufgebracht ist, deren Dicke durch Abstandsstreifen 5 definiert ist.

Das erste Anwendungsbeispiel beschreibt ein Verfahren, mit dem die mit einer Titanmembran verschlossene Pumpenkammer als Teil einer Mikropumpe hergestellt wurde. Wie bei dem in EP 0 104 685 A2, beschriebenen Verfahren wurde eine Siliziumscheibe 1 mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Dicke von 625 µm mit einer ca. 100 nm dünnen Trennschicht 2 aus Kohlenstoff versehen. Dabei blieb ein ca. 3 mm breiter

Rand 1a der Siliziumscheibe vom Kohlenstoff unbedeckt. Auf die Siliziumscheibe wurde durch Kathodenzerstäubung mit einer Magnetronanlage eine 2,7 µm dünne Titanschicht 3 aufgebracht. Durch eine halbstündige Erwärmung auf 450°C wurde in der Titanschicht eine innere mechanische Zugspannung von 200 N/mm<sup>2</sup> eingestellt. Trotz dieser Zugspannung und der Trennschicht 2 löste sich die Titanschicht 3 nicht von der Siliziumscheibe 1 ab, da sie am Rand direkt mit ihr verbunden war. Um andere innere Spannungen in der Titanschicht 3 zu erzeugen, muß die Titanschicht auf eine andere Temperatur erwärmt werden. So führt eine halbstündige Erwärmung auf 500°C zu einer Zugspannung von 450 N/mm<sup>2</sup> und eine ebensolange Erwärmung auf 400°C zu 80 N/mm<sup>2</sup> Zugspannung. Eine Spannung von 200 N/mm<sup>2</sup> ist einerseits klein genug, um eine leichte Beweglichkeit der späteren Pulpenmembran zu gewährleisten, und andererseits groß genug, um die spätere Trennung zwischen Siliziumscheibe 1 und Titanschicht 3 zu ermöglichen. Eine höhere innere Zugspannung der Titanschicht 3 führt dazu, daß die Pumpenmembran nur mit sehr hohen Drücken ausgelenkt werden kann. Eine geringere Zugspannung als 200 N/mm<sup>2</sup> vermindert die Ausbeute bei der späteren Trennung von Siliziumscheibe 1 und Titanschicht 3.

Auf der Titanschicht wurde mit den bekannten Methoden des LIGA-Verfahrens (E.W. Becker et al, Microelectronic Engineering 4 (1986) Seiten 35 bis 56) Mikrostrukturen aus Kupfer so hergestellt, daß sich später einseitig mit einer Membran verschlossene Pumpenkammer ergaben. Zur Herstellung der Mikrostrukturen wurde zunächst ein ca. 100 µm dicker, röntgenempfindlicher Resist 4 auf die Titanschicht aufgebracht und auspolymerisiert. Die Dicke der aufgebrachten Resistschicht wurde dabei durch die Dicke von Abstandsstreifen 5 definiert, die auf die Titanschicht aufgelegt wurden. Dabei erwies es sich als Vorteil, wenn die Trennschicht 2 zwischen Siliziumscheibe 1 und Titanschicht 3 auf einen kleineren Bereich begrenzt wurde, so daß die Abstandsstreifen in einem Bereich der Titanschicht aufgelegt werden konnten, der direkt mit der Siliziumscheibe 1 verbunden war. So konnte verhindert werden, daß nach der Beschichtung mit den Abstandsstreifen 5 auch ein Teil der Titanschicht 3 entfernt wurde, der möglicherweise an den Streifen 5 hängen blieb.

Die Fig. 2 zeigt den Schichtaufbau nach erfolgter Strukturierung. Die Resistschicht 4 ist bereits strukturiert und mit Kupferstrukturen 6 galvanisch ausgefüllt.

Die strukturierte Resistschicht 4 mit den Kupferstrukturen ist mit Kunststoff 7 bedeckt.

Nach der Strukturierung des Resistes 4 durch Synchrotronstrahlung und Entwicklung und nach galvanischen Auffüllen der Resiststrukturen mit Kupfer erwies es sich als notwendig, die Oberfläche der Kupferstrukturen 6 zu bearbeiten, da die Oberfläche nach der galvanischen Abscheidung etwas uneben und rauh war und deshalb eine lückenlose Verbindung von Mikrostrukturen 6 und einer Abdeckplatte 8 nicht möglich war. Die Oberfläche der Mikrostrukturen 6 war so ungleichmäßig hoch, daß die Resiststrukturen 4 stellenweise erst zur Hälfte gefüllt waren, während sie an anderer Stelle schon bis zum Rand aufgefüllt waren.

Um eine ebene Oberfläche zu erhalten, mußte deshalb durch eine Bearbeitung ein großer Teil des Resistes 4 und der Mikrostrukturen 6 wieder abgetragen werden. Die Strukturierung des Resistes ist mit einem hohen Bestrahlungsaufwand an einem Synchrotron verbunden, der überproportional mit der Dicke des Resi-

stes 4 zunimmt. Deshalb erwies es sich als Vorteil, wenn die Resiststrukturen über die Strukturränder hinaus übergalvanisiert und dann abgeschliffen oder abgefräht wurden. Dadurch ergab sich eine besonders ebene Oberfläche der Mikrostrukturen, deren Rauhhigkeit durch das gewählte Bearbeitungsverfahren optimal an das spätere Verbindungsverfahren angepaßt werden konnte. Die Höhe der Kupferstrukturen wurde durch die Oberflächenbearbeitung auf 50 bis 100 µm eingestellt. In Fig. 3 sind der Übersichtlichkeit halber nur die Strukturen für zwei Pumpenkammern dargestellt, obwohl viele solcher Strukturen gleichzeitig nebeneinander hergestellt werden können.

Empfindliche Strukturen nehmen bei der Bearbeitung ihrer Oberfläche durch Schleifen oder Fräsen Schaden. Am häufigsten wurde beobachtet, daß sich die Mikrostrukturen 6 von der Titanschicht 3 ablösen, oder daß die Titanschicht 3 mit der Mikrostruktur 6 von der Siliziumscheibe abgelöst wurde. Die Empfindlichkeit der Mikrostrukturen 6 für eine solche Beschädigungen war dabei von ihrer Form und Größe und von ihrer Lage zur Bearbeitungsrichtung abhängig.

Auch empfindliche Mikrostrukturen 6 ließen sich bearbeiten, wenn sie vor der Bearbeitung in einen Kunststoff 7 eingegossen wurden. Bei der Bearbeitung wurden dann der Kunststoff 7 und die Mikrostrukturen 6 gleichzeitig abgetragen, so daß sich eine geringere Beanspruchung der Mikrostrukturen 6 ergab und auch empfindliche Mikrostrukturen nicht mehr beschädigt wurden.

Der um die Mikrostrukturen 6 herum verbliebene Resist 4 wurde durch eine ganzflächige Bestrahlung und Entwicklung entfernt. Feinmechanisch bearbeitete, ca. 1 mm dicke Plättchen aus Pyrexglas 8, die so groß waren, daß sie jeweils eine Mikrostruktur überdecken konnten, wurden auf einer Lackschleuder ca. 10 µm dick mit einem Klebstoff aus Urethanmethacrylatester beschichtet und auf die Mikrostrukturen 6 aufgebracht. Der Klebstoff wurde bei 120°C innerhalb von 30 Minuten in einem Ofen ausgehärtet.

Die Fig. 3 zeigt die nun mit einem Plättchen 8 verschlossenen Mikrostrukturen, welche nur noch über die Trennschicht 2 mit der Siliziumscheibe 1 verbunden sind, und die Fig. 4 zeigt eine einzelne Pumpenkammer.

Die Titanschicht wurde um die Mikrostrukturen herum in den Bereichen 3a durchtrennt und die mit einer dünnen Membran 3b und dem Glasplättchen 8 verschlossenen, hohlen Mikrostrukturen 6 wurden von der Siliziumscheibe 1 getrennt.

Es ist auch möglich, viele Mikrostrukturen 6 mit einer großen Abdeckplatte gemeinsam zu verschließen, die Titanschicht z. B. durch Auflösen in einer Lösung, die Flußsäure enthält, um die Mikrostrukturen herum zu durchtrennen und dann alle Mikrostrukturen gleichzeitig, mit einer Membran verschlossen vom Substrat zu trennen. Auf diese Weise können viele Pumpenkammern gleichzeitig kostengünstig hergestellt werden.

Im zweiten Anwendungsbeispiel wird ein Verfahren beschrieben, das der Herstellung von Drucksensoren dient, die berührungslos mittels Ultraschall ausgelesen werden können. Auf einer Siliziumscheibe 1 mit 100 mm Durchmesser und einer Dicke von 625 µm wird eine 3 mm dünne Titanschicht 3 durch Magnetronzerstäubung so aufgebracht, daß sich in der Titanschicht 3 eine innere Zugspannung von ca. 200 + / - 50 N/mm<sup>2</sup> ausbildet.

Auf die Titanschicht 3 wird ein handelsüblicher Fotolack 4 mit einer Lackschleuder 40 µm dick aufgetragen.

Der Fotolack 4 wird über eine Kontaktkopie mit einer Chrommaske belichtet, so daß nach der Lackentwicklung zusammenhängende wabenförmige Grabensysteme im Fotolack entstehen, die jeweils von einem Graben umschlossen werden, mit dem sie in Verbindung stehen. Viele solcher Systeme können gleichzeitig nebeneinander hergestellt werden. Diese Grabensysteme werden galvanisch mit Nickel 6 aufgefüllt und über die Strukturränder des Fotolacks hinaus übergalvanisiert. Die Mikrostrukturen 6 werden in einen Kunststoff 7 eingegossen und die Oberfläche zusammen mit dem ausgehärteten Kunststoff bearbeitet, bis sich eine ebene Oberfläche ergibt. Der verbliebene Fotolack 4 wird entfernt. Die Breite der Waben beträgt ca. 80 µm, so daß sich bei der inneren Spannung, Dichte und Dicke der späteren Membranen für mechanische Schwingungen eine Resonanzfrequenz im Ultraschallbereich ergibt.

Ein mit bekannten Methoden der Feinwerktechnik gefertigtes Nickelplättchen 8 wird mit Klebstoff beschichtet und auf die Mikrostrukturen aufgebracht. Der Klebstoff wird in einem Ofen ausgehärtet. Um die Mikrostrukturen herum wird die Titanschicht 3 mit einer Lösung aufgelöst, die Flußsäure enthält, indem die ganze Probe in die Lösung gelegt wird. Die Säure greift die Titanschicht nur an den frei zugänglichen Bereichen an, so daß unter den Mikrostrukturen die Titanschicht 3b erhalten bleibt.

Die Trennschicht 2 ermöglicht es dann, die mit den Membranen 3b und den Nickelplättchen 8 verschlossenen Mikrostrukturen 6 von der Siliziumscheibe 1 zu trennen. Die Zugspannung der Titanmembranen 3b ist abhängig von dem Differenzdruck, der über ihnen abfällt. Da die Resonanzfrequenz der Membranen von ihrer inneren Spannung abhängig sind, ist es nun möglich, über die Messung der Resonanzfrequenz mittels Ultraschall auf den Umgebungsdruck am Ort der Mikrostrukturen zu schließen.

Es ist auch möglich, die Mikrostrukturen 6 mit einer Abdeckplatte zu verbinden, die alle Mikrostrukturen auf dem Substrat gleichzeitig überdeckt. Auf diese Weise können viele Drucksensoren gleichzeitig nebeneinander hergestellt werden, so daß der Fertigungsaufwand für den einzelnen Sensor deutlich verringert wird.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung hohler Mikrostrukturen die einseitig mit einer Membran verschlossen sind, aus auf einer Seite offenen Mikrostrukturen (6), die durch galvanische Abscheidung in eine Resiststruktur (4) auf einer dünnen Schicht (3) aufgebaut wurden, die sich auf einem Substrat (1) befindet, dadurch gekennzeichnet, daß

- a) die Mikrostrukturen (6) über den Rand der Resiststruktur (4) übergalvanisiert werden,
- b) die Oberfläche der Mikrostrukturen (6) abgearbeitet wird, bis sie eben ist,
- c) eine Abdeckplatte (8) so mit den Mikrostrukturen (6) verbunden wird, daß die Mikrostrukturen (6) verschlossen werden,
- d) die dünne Schicht (3) um die Abdeckplatte (8) herum durchtrennt wird und
- e) die dünne Schicht (3) von dem Substrat (1) getrennt wird, auf dem sie sich befand.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrostrukturen (6) nach Verfahrensschritt a) in einen Kunststoff (7) eingegossen werden, und bei Verfahrensschritt b) die Oberflä-

che der Mikrostrukturen (6) zusammen mit dem Kunststoff (7) abgearbeitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der dünnen Schicht (3) und dem Substrat (1) eine Trennschicht (2) ange- 5  
bracht ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß Teile der Oberfläche des Substrats (1) von der Trennschicht (2) frei belassen werden.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1

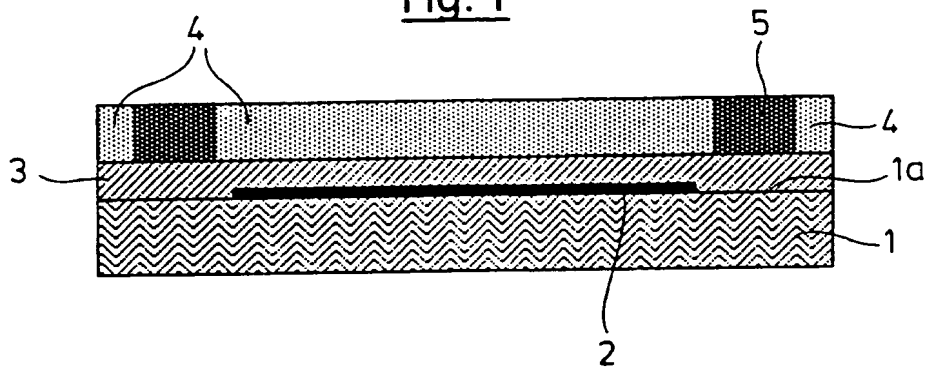


Fig. 2

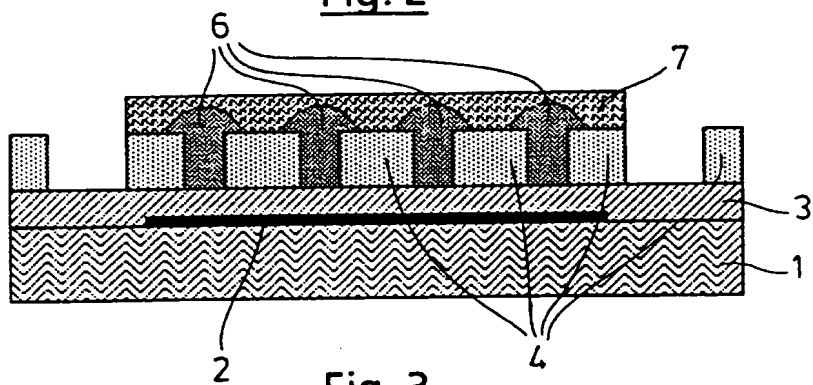


Fig. 3

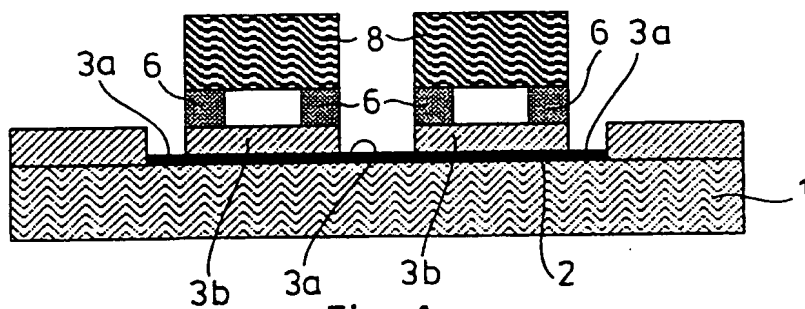


Fig. 4

